

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

ШЕВЧЕНКА Станіслава Сергійовича

на тему «Інформаційна технологія створення інтерактивних сценаріїв на основі 3D-моделей з навчання спеціалістів з ремонту насосів атомних станцій»,
представлену на здобуття ступеня доктора філософії в галузі знань 12
Інформаційні технології за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки

Актуальність теми дисертації.

Сучасні вимоги до безпечної та надійної експлуатації об'єктів критичної інфраструктури, зокрема атомних електростанцій, зумовлюють необхідність якісної підготовки обслуговуючого і ремонтного персоналу. Виконання ремонтних робіт насосного обладнання АЕС передбачає участь декількох спеціалістів, кожен з яких виконує визначену функціональну роль, тому відповідні навчальні сценарії мають багатокористувацький і кооперативний характер. У дисертації обґрунтовано, що створення таких навчальних засобів потребує не лише візуалізації 3D-моделей обладнання, а й формалізованого опису сценаріїв, їх верифікації, врахування ролей учасників, контролю обсягу візуальної інформації та забезпечення синхронної взаємодії у розподіленому середовищі.

Існуючі підходи до створення інтерактивних навчальних систем мають низку обмежень. Як встановлено автором, їх широке впровадження стримується високою вартістю та трудомісткістю розроблення, складністю адаптації інженерних 3D-даних без ручного моделювання, а також труднощами забезпечення стабільної мережевої синхронізації за умов обмеженої пропускної здатності каналів зв'язку. Окремою проблемою є те, що поширені засоби візуального моделювання сценаріїв, зокрема нотації сімейства BPMN, не мають вбудованих засобів формальної верифікації сценаріїв. Важливими технологічними бар'єрами є також оброблення інженерних CAD-моделей промислового обладнання та необхідність запобігання витоку пропрієтарної інформації. У дисертації показано, що достовірне відтворення насосного обладнання у віртуальному середовищі потребує використання інженерних 3D-даних, однак їх безпосереднє застосування створює проблеми надлишкової геометричної деталізації та інформаційної безпеки. Це обґрунтовує необхідність спеціалізованих алгоритмів підготовки й трансформації 3D-моделей.

Додаткової актуальності дослідженню надає необхідність автоматизації створення навчального контенту. Запропонований у роботі No-Code підхід орієнтований на те, щоб фахівці предметної області могли формувати граф навчального сценарію за допомогою візуальних блоків без безпосереднього програмування, тоді як система автоматично трансформує відповідну структуру у програмно виконуване представлення та забезпечує її верифікацію.

Окремою складовою проблеми є підтримка прийнятного когнітивного навантаження користувача під час роботи зі складним віртуальним середовищем та забезпечення мережевої синхронізації багатокористувацьких сценаріїв. Саме

тому серед завдань дисертації визначено розроблення методу управління обсягом інформації на сцені відповідно до заданого рівня складності навчання, а також аналітико-параметричного методу реплікації гармонічних станів для синхронного відтворення динамічних процесів у розподіленому середовищі.

Таким чином, розроблення цілісної інформаційної технології, яка поєднує створення інтерактивних багатокористувацьких сценаріїв на основі 3D-моделей, їх формальну верифікацію, No-Code засоби конструювання, управління обсягом інформації для підтримання прийнятного когнітивного навантаження та механізми мережевої синхронізації, є актуальним науково-прикладним завданням у галузі комп'ютерних наук. Це безпосередньо відповідає сформульованій у дисертації меті – розробленню інформаційної технології, що забезпечує створення, верифікацію, візуалізацію та синхронне відтворення інтерактивних сценаріїв для навчання спеціалістів з ремонту насосів атомних станцій.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження Шевченка С.С. полягає у розвитку моделей, методів та алгоритмічного забезпечення інформаційної технології створення, верифікації, візуалізації та синхронного виконання інтерактивних багатокористувацьких навчальних сценаріїв на основі 3D-моделей.

1. Дістала подальшого розвитку технологія створення інтерактивних навчальних сценаріїв, яка поєднує:

- модель рольової взаємодії у віртуальному середовищі, що ґрунтується на апараті ієрархічних кольорових мереж Петрі. Модель зв'язує дискретні логічні стани 3D-моделей із діями конкретних ролей за принципом «передумова → наслідок», дозволяючи реалізувати емерджентні точки синхронізації та забезпечуючи математично строгу автоматизовану верифікацію сценаріїв (зокрема виявлення тупикових ситуацій або взаємних блокувань без необхідності ручного опису всіх альтернативних станів;

- інформаційну модель навчальних 3D-моделей за парадигмою «Шаблон-Екземпляр» із механізмами фіксації залежностей та ієрархічного блокування, що усуває ефект деструктивного каскадного руйнування графів сцени при оновленні базових компонентів і забезпечує детермінованість поведінки логіки у режимі виконання.

2. Дістав подальшого розвитку метод автоматичного видалення внутрішньої топології вузлів, який, на відміну від методів сліпої геометричної децимації, на основі логіко-семантичного аналізу предикатів участі вузлів у сценарії автоматично видаляє внутрішню топологію нерозбірних компонентів із збереженням зовнішньої оболонки. Це забезпечує радикальне зниження полігонального навантаження на систему візуалізації та суттєво ускладнює реверс-інжиніринг пропрієтарних креслень обладнання.

3. Уперше запропоновано метод динамічного управління обсягом інформації на сцені на основі теорії когнітивного навантаження, що формалізує

функцію завантаженості робочої пам'яті учнів через динамічні маркування мережі Петрі та заданий рівень складності симуляції. Метод реалізує проактивне сповіщення інструктора на етапі проєктування, контекстне затінення нерелевантних фонових 3D-об'єктів та автоматичне конвертування рутинних дій у мовчазні τ -переходи й авто-переходи для початкових рівнів підготовки.

4. Уперше розроблено аналітико-параметричний метод реплікації гармонічних станів для розподіленої мережевої синхронізації, який полягає у відмові від потокової передачі сирих координат на користь подієвої трансляції вектора спектральних параметрів руху (частота, амплітуда, фаза, часова мітка). Це робить обсяг мережевого трафіку інваріантним до частоти коливань, усуває просторові візуальні розриви при мережевій затримці в каналах зв'язку та дозволяє делегувати реконструкцію деформацій на рівень вершинних шейдерів графічного процесора.

Достовірність наукових положень і результатів дисертації забезпечується використанням комплексу методів, адекватних поставленим завданням: теорії графів та апарату мереж Петрі для формалізації рольової взаємодії й аналізу простору досяжних станів, методів об'єктно-орієнтованого проєктування для дослідження структури віртуальних 3D-моделей, алгоритмічної обробки просторових даних для аналізу CAD-геометрії, методів проєктування людино-машинної взаємодії для дослідження когнітивного навантаження, математичного моделювання процесів реплікації кінематичних даних, а також емпіричного тестування та математичної статистики.

Обґрунтованість висновків підтверджується поєднанням теоретичного аналізу з експериментальною перевіркою розроблених рішень. Працездатність запропонованих алгоритмів перевірено шляхом моделювання затримок у деградованих мобільних мережах (3G/Edge) та проведенням контрольованого педагогічного експерименту.

Отже, наукові результати дисертаційної роботи є логічно пов'язаними з поставленою метою та завданнями, достатньо теоретично обґрунтованими й підтвердженими реалізацією та експериментальними дослідженнями.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.

За змістом дисертаційна робота Шевченка С.С. відповідає предметній області спеціальності 122 «Комп'ютерні науки», оскільки основні результати дослідження пов'язані з розробленням математичних моделей, алгоритмів та інформаційної технології створення і виконання інтерактивних багатокористувацьких сценаріїв, формальною верифікацією сценаріїв на основі апарату мереж Петрі, алгоритмічною обробкою 3D-даних, проєктуванням людино-машинної взаємодії, мережевою синхронізацією та програмною реалізацією відповідних засобів.

За результатами ознайомлення зі звітом подібності дисертаційної роботи ознак некоректних текстових запозичень та академічного плагіату не виявлено.

Використані у роботі ідеї, результати та тексти інших авторів супроводжуються відповідними бібліографічними посиланнями.

Мова та стиль викладення результатів

Дисертаційна робота Шевченка С.С. написана українською мовою. Виклад основного матеріалу, наукових положень, результатів дослідження та висновків є логічним, послідовним і загалом аргументованим. У роботі використано відповідну фахову термінологію у галузі комп'ютерних наук, зокрема поняття теорії графів і мереж Петрі, об'єктно-орієнтованого проєктування, алгоритмічної обробки 3D-даних, людино-машинної взаємодії, розподілених систем та мережевої синхронізації.

Структура дисертації відповідає логіці проведеного дослідження. Дисертація складається з вступу, 4 розділів, висновків, списку літератури та додатків. Загальний обсяг дисертації 183 сторінки.

У Вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету, завдання, об'єкт, предмет і методи дослідження, визначено наукову новизну та практичне значення одержаних результатів, а також наведено відомості про апробацію.

У першому розділі проведено критичний аналіз сучасного стану, методів і засобів створення інтерактивних систем навчання ремонтного персоналу енергетичних об'єктів. Автором визначено основні технологічні бар'єри, пов'язані з надлишковою деталізацією інженерних даних, складністю створення сценаріїв, мережевою синхронізацією, а також обґрунтовано доцільність використання No-Code підходу, клієнтського рендерингу та теорії когнітивного навантаження. Завершується розділ постановкою задачі дослідження.

У другому розділі викладено математичні основи розробленої технології: модель віртуальних навчальних 3D-моделей, метод автоматичного видалення внутрішньої топології вузлів, графову модель рольової взаємодії МРВ на основі мереж Петрі, формалізм контролю когнітивного навантаження та параметричну реплікацію гармонічних коливань.

У третьому розділі наведено алгоритмічне та програмне забезпечення розробленої системи: архітектуру компонентів, конвеєр обробки інженерних даних, візуальний редактор і вбудований статичний аналізатор тупикових ситуацій, клієнтський рушій та реалізацію алгоритму мережевої синхронізації.

У четвертому розділі представлено результати апробації та експериментальних випробувань створеного комплексу: дослідження трафіку, точності інтерполяції, оцінки енергоефективності та статистичні результати педагогічного експерименту.

У висновках узагальнено основні наукові та практичні результати дослідження, сформульовано результати виконання поставлених завдань та визначено перспективи подальшого використання запропонованої інформаційної технології.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи

Наукові результати дисертації висвітлені у 15 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 2 статті у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України; 2 статті у періодичних наукових виданнях, проіндексованих у базах даних Web of Science Core Collection та/або Scopus, з яких 2 статті у виданнях, віднесених до першого-третього квартилів (Q1-Q3) відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank або Journal Citation Reports; 0 патентів на винахід, що пройшли кваліфікаційну експертизу та безпосередньо стосується наукових результатів дисертації; 1 патент України на корисну модель; 0 одноосібних монографій, що рекомендовані до друку Вченою радою Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є Пухова НАН України та пройшли рецензування.

Також результати дисертації були апробовані на 10 наукових фахових конференціях. Опубліковані праці повністю та адекватно відображають ключові положення, висновки та наукову новизну дисертаційного дослідження.

Аналіз дисертаційної роботи, автореферату (анотації) та наукових праць здобувача свідчить про дотримання автором академічної доброчесності відповідно до Закону України «Про вищу освіту». У дисертації відсутні текстові збіги без належних бібліографічних посилань, факти плагіату, фабрикації чи фальсифікації даних. Усі спільні публікації мають чітко розмежований особистий внесок здобувача. Таким чином, наукові результати описані в дисертаційній роботі повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

1. У підрозділі 2.3 розрахунок функції когнітивного навантаження базується на введенні вагових коефіцієнтів w_1 та w_2 . Проте в роботі не формалізовано ці коефіцієнти. У роботі наведено приклади граничних значень $Load_{max}$ для різних рівнів складності, зокрема 7 елементів для базового рівня та 10 - для експертного, однак не подано методики визначення або калібрування самих коефіцієнтів w_1 та w_2 . Доцільно було б обґрунтувати, чи встановлюються ці коефіцієнти експертно, емпірично або шляхом оптимізації за даними користувацького експерименту, а також дослідити чутливість результатів адаптації до їх вибору. Це посилює формальну обґрунтованість запропонованого механізму когнітивної адаптації.

2. Метод автоматичного видалення внутрішньої топології вузлів передбачає різні способи трансформації геометрії залежно від участі об'єкта у сценарії: для задіяних деталей використовується спрощення сітки, а для вузлів, які не розбираються, формування зовнішньої оболонки з повним видаленням

внутрішньої структури. Такий підхід є обґрунтованим з погляду зменшення полігонального навантаження та захисту пропрієтарної інформації, однак у роботі доцільно було б детальніше дослідити компроміс між ступенем геометричного спрощення та збереженням навчально значущої інформації. Зокрема, корисною була б кількісна оцінка того, як різні рівні спрощення впливають на точність візуального розпізнавання деталей, коректність кінематичних взаємодій і виконання навчальних операцій.

3. При описі аналізу досяжності станів та алгоритмів запобігання «вибуху простору станів» (підрозділ 3.3.4) згадано використання методу редукції часткового порядку. Було б доцільно навести кількісні показники обчислювальної складності та часу верифікації графа сценарію при зростанні кількості паралельних ролей понад 4-5 учасників.

4. В аналітико-параметричному методі реплікації (підрозділ 2.4, 3.5) добре розв'язано задачу передачі детермінованих гармонічних коливань. Проте реакція системи на різкі неперіодичні стохастичні збурення (наприклад, аварійний гідроудар у трубопроводі) вимагає частішої розсилки знімків стану, вплив чого на мережеве навантаження мобільних каналів розглянуто лише оглядово.

5. У розділі 4 (підрозділ 4.3.3) під час порівняння енергоефективності архітектур акцент зроблено переважно на клієнтських процесорах ARM. Доцільно було б доповнити розрахункову оцінку інструментальними вимірюваннями енергоспоживання для кількох типових конфігурацій клієнтів, зокрема ноутбуків і робочих станцій на базі x86/x64 із інтегрованою та дискретною графікою і врахувати енергоспоживання мережевої інфраструктури.

6. У підрозділі 4.5 наведено контрольований педагогічний експеримент: експериментальна група складалася з 35 осіб, контрольна з 32 осіб, середній час виконання операції становив відповідно 45,2 та 64,5 хв, а різницю визнано статистично значущою за t-критерієм Ст'юдента. Ці результати є важливими, однак для більш повного обґрунтування дидактичної ефективності доцільно було б детальніше описати формування груп: критерії включення, вихідний рівень підготовки, спосіб розподілу учасників між групами, наявність попереднього тестування, однорідність за досвідом та кваліфікацією. Крім того, доцільно було б поряд із часом виконання операції оцінювати кількість помилок, якість виконання, збереження навичок у часі та розмір ефекту. Це дозволило б точніше відокремити вплив запропонованої технології від можливих відмінностей між групами.

7. У підрозділі 4.4 наведено порівняльну оцінку трудомісткості розроблення навчального сценарію. Однак порівняння фактично виконано для одного типового 50-крокового сценарію і різних за професійним профілем виконавців. Для підвищення зовнішньої валідності цих висновків доцільно було б повторити

експеримент на кількох сценаріях різної складності та із залученням більшої кількості інструкторів, а також оцінити варіативність часових витрат.

Вважаю, що наведені зауваження мають переважно дискусійний та рекомендаційний характер, окреслюють можливі напрями подальшого розвитку й поглиблення дослідження та не знижують загальної наукової цінності, новизни і практичного значення одержаних результатів і не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Висновок про дисертаційну роботу

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Шевченка Станіслава Сергійовича на тему «Інформаційна технологія створення інтерактивних сценаріїв на основі 3D-моделей з навчання спеціалістів з ремонту насосів атомних станцій» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для інформаційних технологій. Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п.6–9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

Здобувач Шевченко Станіслав Сергійович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 12 Інформаційні технології за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки.

Офіційний опонент:

Професор кафедри біомедичної кібернетики
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»
Міністерства освіти і науки України,
доктор технічних наук,
професор

/ _____ /
(підпис)

Олександр КУЧАНСЬКИЙ